

氏 名	ZHOU YUAN
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工甲第 1122 号
学位授与年月日	平成 31 年 3 月 20 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	QSL : A Specification Language for E-Questionnaire, E-Testing, and E-Voting Systems (電子調査・試験・投票システムのための仕様記述言語 QSL)
論文審査委員	委員長 准教授 後藤 祐一 委員 教授 吉田 紀彦 委員 教授 吉浦 紀晃 委員 准教授 大久保 潤

論文の内容の要旨

Many kinds of questionnaires, testing, and voting are performed in some completely electronic ways to do questions and answers on the Internet as Web applications, i.e. e-questionnaire systems, e-testing systems, and e-voting systems. E-questionnaire, e-testing, and e-voting systems are indispensable in society.

On the one hand, the mutual collaboration of the stakeholders is the foundation for the development and operation of e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems. However, until now there is no communication tool shared among the stakeholders of systems and services of e-questionnaire, e-testing, and e-voting. All the e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems are designed, developed, used, and maintained in various ad hoc ways. As a result, the stakeholders are difficult to communicate to implement the systems, because there is neither an exhaustive requirement list to have a grasp of the overall e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems nor a standardized terminology for e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems to avoid ambiguity.

A specification language is a formal language used during systems analysis, requirement analysis, and system design to describe a system. Requirements specification is the first and main step of developing software, and the specification language is the most direct way to specify requirement specifications. In addition, owing to the demands for the requirement list and the terminology, a specification language is a better communication tool to solve communication problems.

On the other hand, because e-questionnaire, e-testing, and e-voting have common processes, systems that provide e-questionnaire, e-testing, and e-voting services have common functions to do the processes. E-questionnaire, e-testing, and e-voting systems have lots in common.

Thus, it is necessary to provide a specification language as a communication tool to provide exhaustive requirement list and standardized terminologies for systems and services of e-questionnaire, e-testing, and e-voting so that the stakeholders can communicate easily and unambiguously, and deal with and describe the requirement specifications for three kinds of systems and services. When the stakeholders are using and working with an updating system, they

are looking forward to a clever and automatic way to easily deal with the changes. The ideal state is that a tool as a generator automatically converting the formalized specifications to generate the e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems.

However, until now, there is no general-purpose specification language for specifying various e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems in a unified format such that the stakeholders can communicate, understand and accept each other to create the requirement specifications. The existing specification languages Simple Survey System (SSS), IMS Question and Test Interoperability Specification (QTI), and OASIS Election Markup Language (EML) cannot solve the above problems, because based on their own motivations, they can neither cover e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems nor specify exhaustive requirements of e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems.

This thesis proposes the first specification language, named “QSL,” with a standardized, consistent, and exhaustive list of requirements for specifying various e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems. QSL can be used to provide a desirably exhaustive requirement list to the corresponding stakeholders, so that they can easily choose requirements and complete the requirement specifications.

To propose QSL, firstly, we collected, analyzed, and summarized exhaustive requirements for systems and services of e-questionnaire, e-testing, and e-voting, which are extremely similar. There are 181 requirements for e-questionnaire systems, 169 requirements for e-testing systems, and 168 requirements for e-voting systems. We summarized 121 common requirements for e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems. The exhaustive requirements are the fundament of QSL and based on the requirements, the stakeholders can choose requirements and complete the requirement specifications easily.

Secondly, according to the investigations, we proposed QSL as a unified method to provide terminology and specifications of e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems with a standardized, consistent, and exhaustive requirement list to solve the communication problems among the stakeholders.

Thirdly, we evaluated the proposed QSL about description power to ensure its completeness manifesting in specifying various e-questionnaire, e-testing, and e-voting systems. Current QSL can cover more than 95% system requirements and 95.4% service requirements, and provides enough notations to describe the requirements for data portability, and can cover the existing specifications compared with the related works. The reasons of the rest requirements QSL cannot cover, on the one hand, they are not necessary requirements for QSL according to the motivation, and on the other hand, they are easy to extend QSL to cover them.

Lastly, we proposed an alternative usage of QSL for data portability and implemented two real applications for QSL. QSL is used as a data format for data portability for a general-purpose e-questionnaire server to help conduct an e-questionnaire on different e-questionnaire systems, and for an offline e-testing environment to provide users with offline e-testing service to execute various offline e-testing. The applications can prove QSL is practical and available to be used to provide data format for data portability.

論文の審査結果の要旨

市民社会にとって、調査（アンケート）、試験、投票は人々の考えや意見、選択、特徴、知識や技能を明らかにするために必要不可欠な活動である。近年、調査、試験、投票を電子的におこなう電子調査、電子試験、および電子投票システムが数多く開発され、利用されている。また、調査、試験、および投票には共通のプロセスがあるため、電子調査、電子試験、および電子投票の全て、あるいは複数を実施できるシステムも開発され、提供されている。どのように高い信頼性や安全性を持つ電子調査、電子試験、電子投票システムを開発するのは重要な課題となっている。

高い信頼性や安全性を持つ電子調査、電子試験、電子投票システムを開発するためには、調査・試験・投票の実施者、システムの発注者、システムの開発者などの利害関係者間で円滑、かつ、誤解のない意思疎通を行う必要があるが、それは簡単なことではない。第一に、電子調査、電子試験、電子投票の各概念を利害関係者間で誤解なく伝え合うための用語が整備されていない。第二に開発しようとするシステムの要求を網羅的に列挙することが難しいためである。

仕様記述言語は、システムの要求仕様を形式的に記述するための言語である。要求仕様の作成はシステム開発の最初の、そして、最重要の利害関係者間での意思疎通のプロセスである。要求仕様の作成に仕様記述言語を用いることで、要求仕様の解釈は一意に定まり、利害関係者間で要求仕様に関する誤解が発生するのを防ぐことができる。電子調査システムのための使用記述言語として Simple Survey Systems (SSS) が、電子試験の使用記述言語として IMS Question and Test Interoperability specification (QTI) が、そして、電子投票の記述言語として OASIS Election Markup Language (EML) が提案されているが、それぞれ各システムの網羅的要求を提供しているわけではない。また、これらの既存の使用記述言語を用いて電子調査、電子試験、および電子投票のすべて、あるいは複数を実施できるシステムを開発するためには、複数の仕様記述言語を学び、利用する必要がある。

本論文では、電子調査、電子試験、電子投票システムのための仕様記述言語 QSL を構築し、QSL の有用性の評価を行っている。QSL は電子調査、電子試験、電子投票システムについての意思疎通をおこなうための用語を提供する。また、その用語を用いて電子調査、電子試験、電子投票システムの網羅的な要求仕様を記述し、提供している。本論文は6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、目的、および位置付けについて述べた。まず、電子調査、電子試験、電子投票システムの概況を述べ、それらのシステム開発における利害関係者間の意思の疎通の問題を明らかにし、それを解決するため仕様記述言語が必要なことを示し、本研究の目的として、電子調査、電子試験、電子投票システムのための仕様記述言語 QSL を構築し、既存の電子調査、電子試験、電子投票システムやそれらのシステムのための既存の仕様記述言語と比較することを通じて QSL の有効性を評価することを定めた。

第2章では、電子調査、電子試験、電子投票システムで用いられる用語およびこれらのシステムに関する網羅的な要求について述べた。まず、既存の代表的な 29 の電子調査システム、22 の電子試験システム、および 23 の電子投票のシステムについてそのシステムおよびシステム上で提供されるサービスの要求や機能を収集し、分析した。その結果、電子調査システムについては 181 個の要求、電子試験システムには 169 個の要求、そして、電子投票システムには 177 の要求があった。また、これらの要求のうち 121 個の要求は 3 つのシステムに共通であることを明らかにした。そして、収集した要求を 8 つのグループに分類し、グループ内での要求間の関連性も定義した。また、要求に使われている用語を抽出し、用語間の関連性を整理するためにオントロジーを構築した。さらに、電子調査、電子試験、電子投票それぞれで用いられている用語の

関連性についてもオントロジーを構築した。

第3章では、電子調査、電子試験、電子投票システムのための仕様記述言語 QSL の構成およびその特徴について述べた。QSL は XML に基づく仕様記述言語である。QSL は 2 章で述べた電子調査、電子試験、電子投票およびそれらのシステムに関する用語をタグとして提供している。これにより、電子調査、電子試験、電子投票およびそれらのシステムに関する諸概念を利害関係者間で一意に用いることができる。そして、新たな用語を追加したい場合にはタグを追加するだけで簡単に QSL を拡張することができる。また、QSL では QSL スキーマという形式化された要求仕様のテンプレート集を提供している。2 章で収集した電子調査、電子試験、電子投票およびそれらのシステムの網羅的な要求を定義したタグを用いて形式化し、要求間の制約や関連性に基づいてグループ分けしたものが QSL スキーマである。QSL を用いて要求仕様を作成する際には、作成者は自分の要望に応じて QSL スキーマを選択し、構築したい電子調査、電子試験および電子投票サービスおよびそのシステムの要求仕様のテンプレートを作成することができる。そして、作成したテンプレートに具体的な値を記述することにより、構築したいサービスおよびシステムの形式的な要求仕様書を作成することができる。また、システムの要求に関する QSL スキーマには、システムで管理すべき電子調査、電子試験、電子投票に関するデータ項目およびデータ型が要求として含まれている。このデータ項目およびデータ型はシステム間でデータ移行を行うためのデータ形式として利用することもできる。

第4章では、QSL の有効性の評価を述べている。QSL は構築したいサービスおよびシステムの要求仕様を利害関係者間で誤解することなく解釈できるようにすることを目的とした仕様記述言語である。このため、任意の電子調査、電子試験、電子投票サービスおよびシステムの要求を記述できるかどうかは QSL の有効性の評価において最も重要な観点となる。そこで、既存のシステムやサービスの要求、およびそれらのシステムやサービスで扱うデータ項目およびデータ型について QSL で記述可能であるかどうかの評価を行った。その結果、QSL はシステムの要求を 95%、サービスの要求を 95%、そしてデータ項目およびデータ型についてはすべてを記述することができた。システムおよびサービスにおいて記述できなかった要求は QSL で扱うべき要求の抽象度からすると実装依存な要求であった。また、既存の仕様記述言語 SSS、QTI、および EML と QSL の記述力を比較し、QSL がこの 3 つの仕様記述言語で記述できる要求を扱えることを確かめた。この評価結果から、QSL を使用することで、さまざまな電子調査、電子試験、電子投票のサービスおよびシステムの要求を記述可能であるといえる。また、既存の仕様記述言語 SSS、QTI および EML と異なり、電子調査、電子試験、および電子投票のすべて、あるいは複数を実施できるシステムの要求仕様書を作成する際には QSL を学ぶだけで十分であり、学習コストの観点からも既存の仕様記述言語よりも有用であるといえる。

第5章では、QSL を応用研究に用いた事例の紹介と期待し得る応用について述べている。

最後に、第6章では、本研究で得た成果と知見をまとめ、残された研究課題を示した。

なお、本論文の主な内容は、既に7編の学術論文として、国際学術論文誌 (Springer Lecture Notes) (4 編)、および査読付きの IEEE 学会国際会議論文集 (3 編) において公表され、あるいは公表が決定されている。

以上のように、本論文は、電子調査、電子試験、電子投票システムを開発する際に利害関係者間で開発するシステムの要求仕様書が誤解なく、一意に解釈されるようにするため、電子調査、電子試験、電子投票システムのための仕様記述言語 QSL の構築について述べ、また、QSL の有用性についても示した。これらの研究成果は、高信頼で高安全な電子調査、電子試験、電子投票システムの開発について新しい知見を示し大きく貢献するものである。従って、当学位論文審査委員会は、本論文が、博士 (工学) の学位を授与するに十分値するものと判定した。